

Un sistema predictivo para el control de la mancha foliar del caqui causada por *Mycosphaerella nawae*

Joaquín Martínez-Minaya, Antonio López-Quílez, David Conesa (Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat de València, Burjassot, Valencia).

Jose Luis Mira y Antonio Vicent (Centro de Protección Vegetal y Biotecnología, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada, Valencia).

La mancha foliar, causada por *Mycosphaerella nawae*, es la principal enfermedad fúngica del caqui en España. Este patógeno estaba restringido a las zonas húmedas de Japón y Corea, pero ha conseguido adaptarse perfectamente a las condiciones semi-áridas de la cuenca mediterránea. Actualmente, el control económico de la mancha foliar del caqui requiere de la aplicación de tratamientos fungicidas. El Decreto 1311/2012, para el uso sostenible de los productos fitosanitarios, establece la necesidad de optimizar la eficiencia de las actuales estrategias de tratamientos fungicidas, empleando para ello sistemas de ayuda en la toma de decisiones. En este artículo se presenta de forma resumida un modelo para estimar la disponibilidad de inóculo de *M. nawae* en la hojarasca a partir de datos meteorológicos. Con este sistema de ayuda es posible determinar el período crítico de infección y programar adecuadamente los tratamientos fungicidas.

Descripción de la enfermedad

Aunque la presencia del caqui en España se remonta al siglo XVI (Giordani, 2003), su cultivo intensivo es relativamente reciente. La superficie dedicada a este frutal ha aumentado de forma significativa durante los últimos años,

especialmente en las zonas costeras de la provincia de Valencia, donde ha pasado de tan solo 2.000 ha en el año 2002 a más de 13.000 ha y 150.000 toneladas en la actualidad. Para el año 2020 se prevé una producción de más de 645.000 toneladas, que situará a España como segundo productor mundial de caqui (Perucho, 2015).

Con el incremento de la superficie de cultivo, aumenta también la densidad y proximidad de las parcelas, lo que suele favorecer el desarrollo epidémico de nuevas enfermedades (Brown y Bolker, 2004). La mancha foliar del caqui, causada por el hongo *Mycosphaerella nawae* Hiura & Ikata, es un caso paradigmático en este sentido. Esta



Figura 1. Síntomas de la mancha foliar del caqui causada por *Mycosphaerella nawae*, a) lesiones necróticas y clorosis en hojas; y b) defoliación y caída anticipada de frutos en una parcela afectada.

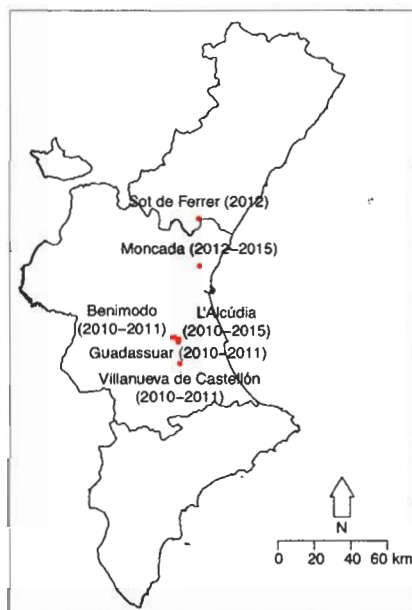


Figura 2. Localizaciones y períodos de estudio del seguimiento de ascoporas de *Mycosphaerella nawae* en la hojarasca de caqui.

enfermedad causa lesiones necróticas en las hojas y defoliación (Figura 1a). Aunque el patógeno infecta únicamente a las hojas, los frutos de los árboles afectados maduran anticipadamente y sufren una abscisión prematura, lo que se traduce en graves pérdidas económicas (Figura 1b). La mancha foliar del caqui estaba considerada como una enfermedad exótica, restringida a las zonas húmedas de Japón y Corea (Kwon y Park, 2004). En 2008 aparece por primera vez en España, coincidiendo con el aumento exponencial de la superficie de cultivo. Durante los años 2009 y 2010 la enfermedad se expande y reduce la producción total de caqui en un 40%, lo que hizo temer incluso por la viabilidad del cultivo (Perucho, 2015). En la actualidad, la mancha foliar del caqui es una enfermedad endémica en nuestras zonas de cultivo, que es posible controlar mediante la aplicación de fungicidas y prácticas agronómicas adecuadas.

Aspectos epidemiológicos y de control

En nuestras condiciones, *M. nawae* se reproduce principalmente mediante ascoporas que forma dentro de cuerpos fructíferos (pseudotecios) en la hojarasca, compuesta por las hojas infectadas de la campaña anterior. Estos cuerpos fructíferos y las ascoporas que hay en su interior evolucionan durante los meses de invierno, alcanzando su



Figura 3. Parcela de caqui afectada por la mancha foliar. Estación meteorológica junto a una malla con hojarasca para el seguimiento de ascoporas de *Mycosphaerella nawae*.

estado de madurez con el aumento de temperatura en primavera. En condiciones de laboratorio se ha observado que la liberación de ascoporas de la hojarasca se inicia a partir de 10°C y es máxima con temperaturas superiores a 15°C (Vicent y col., 2011). Para la liberación de las ascoporas es necesaria también la presencia de agua sobre la hojarasca. Estudios realizados en laboratorio indican que es necesario al menos 1 mm de agua para que se produzca una liberación significativa de ascoporas, siendo las lluvias y los riegos por inundación los factores determinantes (Vicent y col., 2011).

Una vez liberadas de la hojarasca, las ascoporas de *M. nawae* se diseminan por el aire. En nuestras condiciones, se han observado ascoporas de *M. nawae* en el aire desde finales de marzo hasta mediados de julio, aunque las mayores capturas se registraron en abril y mayo (Vicent y col., 2012). Estos resultados contrastan con los datos de la enfermedad en Corea, donde la máxima liberación de ascoporas se produce en junio y julio (Kang y col., 1993; Kwon y Park, 2004). En España, las temperaturas invernales más altas acelerarían la maduración de las ascoporas en la hojarasca, adelantando el período de disponibilidad de inóculo respecto a Corea (Vicent y col., 2012). En nuestras condiciones, el período crítico de infección se concentra en los meses de abril a junio, mientras que en Corea de mayo a julio, coincidiendo en ambos casos con

el período de máxima disponibilidad de inóculo de *M. nawae* (Kwon y Park, 2004; Vicent y col., 2012). Debido al largo período de incubación característico de la enfermedad, los síntomas en las hojas infectadas no son visibles hasta finales de verano.

En general, los patógenos fúngicos necesitan humedad y temperaturas adecuadas para infectar a las plantas. Sin embargo, una particularidad de las zonas mediterráneas es la presencia de veranos secos sin apenas lluvia (Aschmann, 1973), aparentemente poco favorables para el desarrollo de la mayoría de los hongos fitopatógenos. Los datos epidemiológicos expuestos anteriormente indican que *M. nawae* ha conseguido adaptarse a las condiciones semi-áridas del Mediterráneo adelantando el período de disponibilidad de inóculo a la primavera, cuando las lluvias y los períodos de humectación foliar son más favorables para las infecciones.

Como ya se ha indicado, en nuestras condiciones la hojarasca es la principal fuente de inóculo de *M. nawae*. Por lo tanto, para el control de la enfermedad se recomienda enterrar la hojarasca afectada de la campaña anterior mediante un laboreo superficial o eliminarla mediante incineración o compostaje. El uso de riego localizado, que confiere una menor superficie de suelo mojado que el riego por inundación, podría ayudar también a reducir la liberación del inóculo de la hojarasca (Vicent y col., 2011). No obstante, aunque todas estas prácticas

agronómicas ayudan en la gestión integrada de la enfermedad, los tratamientos fungicidas son indispensables para su control económico. Independientemente de la materia activa empleada, los tratamientos fungicidas solo son eficaces si se realizan coincidiendo con el período crítico de infección (Berbegal y col., 2011).

Sistema de ayuda en la toma decisiones

En general, el control de las enfermedades fúngicas de los frutales representa una parte relativamente pequeña de todos los costes de cultivo, por lo que era frecuente aplicar un calendario fijo de tratamientos fungicidas como medida de 'seguridad' (Gent y col., 2009). Sin embargo, esta situación ha cambiado drásticamente desde la publicación del Real Decreto 1311/2012, por el que se establece el marco de actuación para el uso sostenible de los productos fitosanitarios (Directiva Europea 2009/128/CE). El Real Decreto 1311/2012 desarrolla un Plan de Acción Nacional que insta a utilizar sistemas de ayuda en la toma de decisiones para optimizar el control de las enfermedades, así como también incorporar métodos alternativos que sustituyan o disminuyan la utilización de fungicidas.

Los sistemas de ayuda en la toma de decisiones están basados en modelos de predicción epidemiológica. Estos modelos utilizan las relaciones entre la enfermedad y determinadas variables explicativas relacionadas con las condiciones ambientales y la actividad del patógeno. Con los modelos de predicción de enfermedades es posible ajustar la aplicación de fungicidas a los períodos críticos de infección, reduciendo el número de tratamientos a los estrictamente necesarios (Gent y col., 2013).

Por lo general, en los patógenos fúngicos que tienen su principal fuente de inóculo en la hojarasca, los períodos críticos de infección suelen estimarse a partir de modelos de su fase reproductiva (De Wolf y Isard, 2007). En el caso concreto de la mancha foliar del caqui, el seguimiento del nivel de ascosporas de *M. nawae* en la hojarasca permite determinar con cierta antelación su período crítico de infección (Vicent y col., 2012). De esta forma es posible programar adecuadamente los tratamientos fungicidas, evitando aplicaciones innecesarias.

Con el objetivo de desarrollar un sistema que permita predecir el período de disponibilidad de ascosporas de *M. nawae* en la hojarasca, se realizaron muestreos semanales durante varios

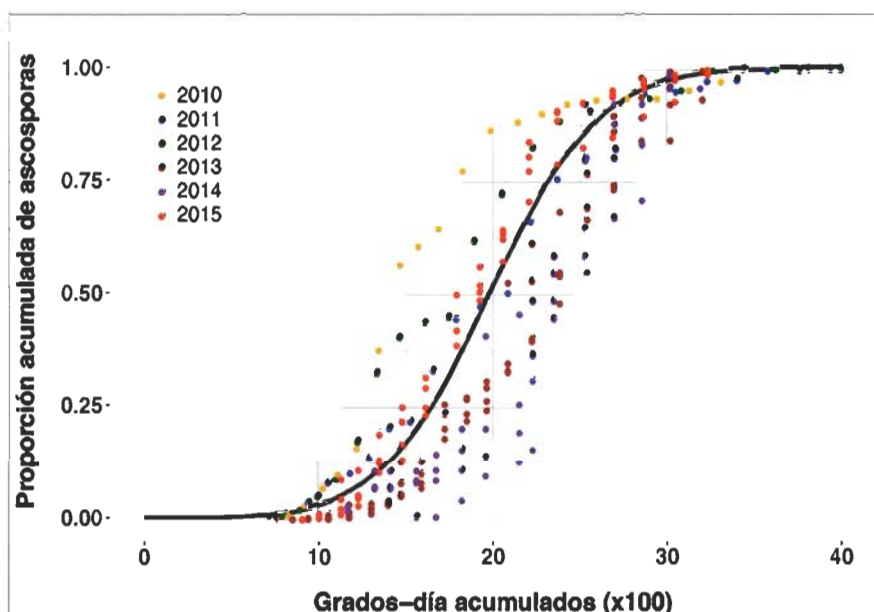


Figura 4. Modelo obtenido para la producción de ascosporas de *Mycosphaerella nawae* en la hojarasca a partir de los grados-día acumulados desde el 1 de enero en una parcela de l'Alcúdia (Valencia). Los puntos representan los valores observados. La línea continua representa la predicción del modelo y las líneas discontinuas su intervalo de credibilidad al 90%.

años en parcelas de caqui afectadas por la enfermedad (Figura 2). Las muestras de hojarasca se sometieron a un proceso de extracción de las ascosporas con un túnel de viento, para su posterior cuantificación en el microscopio (Vicent y col., 2011; 2012). En las parcelas se instalaron estaciones automáticas para seguir las condiciones meteorológicas (Figura 3).

Tras evaluar diferentes modelos estadísticos, la proporción acumulada anual de ascosporas de *M. nawae* liberadas de la hojarasca se relacionó con los grados-día acumulados desde el 1 de enero mediante un modelo mixto bayesiano de regresión beta. En este tipo de modelos la variable objeto de estudio sigue una distribución beta y su media se une al predictor lineal a través de una función link, que en este caso particular es el logit. Una de las principales ventajas de estos modelos es que están especialmente diseñados para trabajar con proporciones, teniendo en cuenta la reducción de la variabilidad cuando los valores de la variable respuesta se acercan a los extremos (Ferrari y Cribari-Neto, 2004). Esto permite obtener unas predicciones mucho más fiables. Además, al abordar la modelización desde una perspectiva bayesiana, es posible obtener también las distribuciones de probabilidad de las predicciones.

Como se observa en el modelo de una parcela en l'Alcúdia (Figura 4), la producción

de ascosporas maduras de *M. nawae* en la hojarasca se inicia sobre los 1.000 grados-día acumulados desde el 1 de enero. A partir de ahí, la producción de nuevas ascosporas en la hojarasca se incrementa de forma exponencial, hasta agotarse por completo cuando se alcanzan los 3.000 grados-día. Las fechas correspondientes a estos grados-día marcan el inicio y el final del período de disponibilidad de inóculo en la hojarasca de esa parcela. Como ya se ha indicado anteriormente, este período de disponibilidad de inóculo determina a su vez el período crítico de infección de *M. nawae*, durante el cual hay que realizar las aplicaciones fungicidas.

Este sistema de ayuda para el control de la mancha foliar estará accesible en la página web del IVIA sobre gestión integrada de plagas y enfermedades del caqui <http://gipcaqui.ivia.es>, conectada a la red de estaciones agroclimáticas del Servicio de Tecnología del Riego. De esta forma se podrán obtener estimaciones de la duración del período crítico de infección de *M. nawae* en las principales zonas de cultivo de caqui de la Comunitat Valenciana. El sistema ayudará a optimizar la estrategia de control de esta enfermedad, tal y como establece el Real Decreto 1311/2012.

Agradecimientos: Trabajos financiados por el proyecto INIA RTA2013-00004-C03-02 FEDER.



BIBLIOGRAFÍA

- Aschmann H (1973) Distribution and peculiarity of Mediterranean ecosystems. In: F Di Castri, HA Mooney (eds). Mediterranean Type Ecosystems; Origin and Structure. pp. 11-19. Springer-Verlag.
- Berbegal M, Armengol J, García-Jiménez J (2011) Evaluation of fungicides to control circular leaf spot of persimmon caused by *Mycosphaerella nawae*. Crop Prot. 30:1461-1468
- Brown DH, Bolker BM (2004) The effects of disease dispersal and host clustering on the epidemic threshold in plants. Bull. Math. Biol. 66:341-371
- De Wolf ED, Isard SA (2007) Disease cycle approach to plant disease prediction. Annu. Rev. Phytopathol. 45:203-220
- Ferrari, S.L.P., Cribari-Neto F (2004) Beta regression for modelling rates and proportions. J. Appl. Stat. 31:799-815
- Gent DH, De Wolf E, Pethybridge SJ (2009) Perceptions of risk, risk aversion, and barriers to adoption of decision support systems and integrated pest management: An introduction. Phytopathology 101:640-643
- Gent DH, Mahaffee WF, McRoberts N, Plender WF (2013) The use and role of predictive systems in disease management. Annu. Rev. Phytopathol. 51:267-289
- Giordani, E., 2003. El caqui: diversificación varietal para un cultivo en desarrollo. Comunitat Valenciana Agraria 22:22-34
- Kang SW, Kwon JH, Lee YS, Park CS (1993) Effects of meteorological factors on perithecial formation and release of ascospores of *Mycosphaerella nawae* from the overwintered persimmon. RDA J. Agr. Sci. Crop Prot. 35:337-343
- Kwon JH, Park CS (2004) Ecology of disease outbreak of circular leaf spot of persimmon and inoculum dynamics of *Mycosphaerella nawae*. Res. Plant Dis. 10:209-216
- Perucho R (2015) El cultivo del caqui. Antecedentes e importancia económica. En: ML Badenes, DS Intrigliolo, A Salvador, A Vicent (eds). El Cultivo del Caqui. pp. 17-34. Generalitat Valenciana
- Vicent A, Bassimba DDM, Hinarejos C, Mira JL (2012) Inoculum and disease dynamics of circular leaf spot of persimmon caused by *Mycosphaerella nawae* under semi-arid conditions. Eur. J. Plant Pathol. 134:289-299
- Vicent A, Bassimba DDM, Intrigliolo D (2011) Effects of temperature, water regime and irrigation system on the release of ascospores of *Mycosphaerella nawae*, causal agent of circular leaf spot of persimmon. Plant Pathol. 60:890-898

Combate a los insectos y ácaros de la manera más natural

Las piretrinas naturales
son insecticidas y acaricidas
con una rápida acción de contacto,
un amplio espectro y
sin residuos.

KENPHYR es un **producto totalmente natural**, obtenido de flores secas de Pelitre (*Crysanthemum cinerariifolium*), con una riqueza de un 4% DE PIRETRINAS y formulado con una **base de aceites vegetales**, principalmente aceite de soja, **que incrementan su actividad insecticida**.

Se recomienda su utilización para el control de mosca blanca, trips, pulgones, cochinillas, orugas, escarabajos, hormigas y ácaros **en horticolas y ornamentales**.

Apto para
cultivo ecológico



INSCRITO EN EL
REGISTRO OFICIAL DE PRODUCTOS
Y MATERIAL FITOSANITARIO
CON EL N° 25.297/19

EXTRACTO DE PELITRE

KENPHYR

PIRETRINAS NATURALES



BIAGRO

Bioestimulantes Agrícolas
que respetan la naturaleza